

ارزیابی فنی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان

غربی - مهاباد

معروف سی وسه مرده*^۱ و مطلب بازیدی^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱

چکیده

استفاده و دارای بازده زیاد از آب در دسترس به علت محدودیت منابع آب، و نیز ایجاد مشکلات زهکشی، ضروری است، بنابراین جهت بالابردن بازده آبیاری، سامانه های آبیاری بارانی در سالهای اخیر توسعه زیادی یافته اند. طراحی، اجرا و بهره‌برداری از یک سامانه آبیاری ممکن است صحیح و یا بطور نادرست انجام پذیرد، لذا ارزیابی سامانه برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سامانه را ادامه دهد، یا اینکه تغییراتی در آن ایجاد نماید. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در منطقه مهاباد بوده، که برای این منظور سه سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بطور کاملاً تصادفی انتخاب، و در سه مرحله مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا فراسنجهایی از قبیل ویژگیهای هواشناسی، خاک، آب آبیاری، محصول، و خصوصیات سامانه از قبیل فشار و دبی(بده) آبپاشها اندازه‌گیری شدند. سپس شاخصهای ارزیابی شامل ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین، بازده کاربرد و بازده ترکیبی با تجزیه و تحلیل داده‌های صحرائی محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که میانگین مقادیر ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد ربع پایین و بازده بالقوه ربع پایین سامانه به ترتیب ۶۶/۴٪، ۵۲/۲٪، ۴۵/۸٪ و ۴۵/۸٪ بوده اند. همچنین، نتایج نشان دادند که میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی، و نفوذ عمقی در این سامانه به ترتیب ۱۲/۲٪ و ۱۳/۴٪ و مجموع تلفات ۲۵/۶٪ بوده است. همچنین، نتایج بیانگر آنند که بازده کاربرد و بازده ترکیبی به ترتیب ۷۴/۴٪ و ۷۵/۸٪ بوده اند. شایان ذکر است که یکی از دلایل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع و بازده آبیاری در این سامانه ها سرعت باد و ضعف طراحی بوده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، ارزیابی، بازده کاربرد، کلاسیک ثابت، مهاباد، یکنواختی توزیع.

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، گروه مهندسی آب، مهاباد، ایران.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، گروه مهندسی آب، سنندج، ایران.

*- نویسنده‌ی مسوول مقاله: maroof_33m@yahoo.com

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت، و در پی آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و محدودیت منابع آب از سوی دیگر، سبب ایجاد بحران شده است. این امر با گذشت زمان محسوستر شده است، لذا یافتن راهکارهای عملی و متناسب جهت پیشگیری و یا مقابله با اثرات سوء حاصل از این پدیده دارای اهمیت ویژه‌ای است. با توجه به این که در کشور ما حدود ۹۵٪ از منابع آب موجود در بخش کشاورزی و برای آبیاری مصرف می‌شود، که نشان از نقش اصلی و تعیین کننده آبیاری در مصرف بهینه منابع آب کشور دارد، با به کارگیری روشهای آبیاری تحت فشار، بازده آبیاری افزایش مییابد، ولی همواره باید توجه داشت که این روشها را تنها در شرایطی ویژه بایستی توصیه نمود. در شرایط کنونی، که چندسالی از توسعه روشهای آبیاری تحت فشار در کشور می‌گذرد و تا حدودی این سامانه ها جایگاه خود را در کشاورزی باز کرده اند، جا دارد که در کنار توسعه کمی به توسعه کیفی آنها نیز پرداخته شود. با بررسی و ارزیابی طرحهای اجراشده، می‌توان درجه موفقیت را در هر منطقه ارزیابی کرده، نکات مثبت و منفی هر طرح را آشکار نموده و از آنها برای طراحی و اجرای طرحهای آینده استفاده کرد (ابراهیمی، ۱۳۸۵). بطور کلی، تحلیل هر سامانه آبیاری که بر پایه اندازه‌گیری در شرایط واقعی مزرعه و در حین کار روزمره سامانه استوار باشد، ارزیابی می‌نامند (فاریابی، ۱۳۸۸). ارزیابی از آن جهت مهم است که برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سامانه کنونی را ادامه دهد، و یا آن را اصلاح کند. تشخیص این که بهره‌برداری از یک سامانه آبیاری به چه خوبی انجام می‌گیرد (بازده کاربرد واقعی)، یا می‌توانست مورد استفاده واقع گردد (بازده کاربرد بالقوه)، تنها با اندازه‌گیریهای عملکرد آنها در مزرعه قابل دستیابی است. به هر حال، ممکن است از مشاهده بعضی از خصوصیات عملکرد سامانه ها، تقریبهای نسبتاً معقولی به دست آید، و راهنماییهایی را برای تصحیح بعضی از مراحل فراهم آورد (سهرابی و اصلی منش، ۱۳۷۷) کمیته بین‌المللی آبیاری وزهکشی نیز توجه زیادی را به ارزیابی طرح های آبیاری معطوف نموده و شاخصهای متعددی را برای ارزیابی طرحها در زمینه انتقال،

توزیع و کاربرد آب، و جنبه‌های اجتماعی و زیست محیطی ارائه کرده است (بایزیدی، ۱۳۸۰). بیشتر نوشته‌های علمی درباره سامانه های آبیاری، در مورد بهبودسازی توزیع آب در خاک متمرکز شده‌اند (دوارچین و لورنزی، ۲۰۰۶).

یکنواختی توزیع (DU)، بازده کاربرد آب در ربع پایین^۱ (AELQ)، بازده بالقوه کاربرد آب در ربع پایین^۲ (PELQ) و ضریب یکنواختی (CU) عمده‌ترین فراسنجهای ارزیابی سامانه های بارانی می باشند. (قاسمزاده مجاوری، ۱۳۷۵). الغباری (۲۰۰۶) نیز برای ارزیابی عملکرد ۶ سامانه آبیاری بارانی سنتریوت در عربستان سعودی از سه شاخص ضریب یکنواختی هیرمان و هین (۱۹۶۸)، DU و PELQ بهره گرفت. منتظر و مریدنژاد (۲۰۰۸) جهت ارزیابی سامانه های آبیاری بارانی بیله‌سوار مغان از ضرایب یکنواختی کریستین سن، هارت و رینولدز، ضریب یکنواختی آماری، یکنواختی توزیع و بازده تخلیه استفاده کرده اند. پیرا و همکاران از DU به عنوان ابزاری اساسی برای بهبود عملکرد سامانه های آبیاری نام برده‌اند (پیرا و همکاران، ۲۰۰۲). لورنزی (۲۰۰۲) و دوارچین و لورنزی (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که در باب آبیاری بارانی، ارزیابی تلفات جت آب به دلیل شرایط محیطی را می‌توان به عنوان شاخصی مهم از عملکردهای سامانه در نظر گرفت. پژوهشها نشان می‌دهند که یکنواختی توزیع آب در بسیاری از سامانه های آبیاری بارانی موجود در کشور ما کمتر از حد قابل قبول می‌باشد (بایزیدی، ۱۳۸۰). در کشورهای دیگر نیز این موضوع مشاهده شده است (جوان و همکاران، ۲۰۰۲). فاریابی (۱۳۸۸) نیز گزارش کرد که در بسیاری از موارد، یکنواختی توزیع آب در تمام مزرعه که به وسیله شاخصهای ضریب یکنواختی توزیع اندازه‌گیری شده است کمتر از استانداردهای قابل قبول می‌باشد.

کمی کردن یکنواختی توزیع به رابطه ریاضی نیازمند است. در این راستا، افراد مختلفی از جمله کریستین سن^۳، هارت و رینولدز^۴، ویلکوکس و اسوالز^۵، کارملی، کریدل و

¹ -Application Efficiency of Low Quarter

² -Potential Efficiency of The Low Quarter

³ -Cristien sen

⁴ - Hart & Reynolds

⁵ - Wilcox & Swailes

چیز به وسیله میزان تلفات تبخیر و باد کنترل می‌شود. بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ) معرف بازده آب در داخل مزرعه بوده، که واقعیت عینی دارد. در طراحی روشهای آبیاری، جهت برآورد نیاز آبیاری، بازده کاربرد آب را به عنوان یک فراسنج فرضی در نظر گرفته، بر اساس آن نیاز آبیاری طرح را محاسبه می‌کنند. بازده بالقوه ربع پایین (PELQ) برای طراحی، همچنین مطابقت وضعیت سامانه با حالت مدیریت خوب، وقتی که عمق و زمان آبیاری بصورت مطلوب انتخاب شده‌اند، به کار می‌رود (بایزیدی، ۱۳۸۰). پایین بودن مقدار PELQ معمولاً در ارتباط با طراحی ناقص سامانه می‌باشد (الغباری، ۲۰۰۶)، لکن امکان عمده بودن آن نیز به دلایل اقتصادی وجود دارد، در حالی که مقدار کم AELQ نشان‌دهنده مشکل مدیریت است و اختلاف AELQ و PELQ جنبه‌های مختلف این مشکل را بیان می‌نماید.

بایزیدی (۱۳۸۰) سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در شهرستان قروه را مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در چهار روستای شهرستان قروه از توابع استان کردستان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که کلیه طرحها دارای بازده پایینی بوده، نیز پدیده کم‌آبیاری در آنها حاکم بوده است. مشکل اساسی در این طرحها عدم دقت لازم در طراحی و اجرا، همچنین به کاربردن وسایلی با کیفیت نامناسب ذکر شده است. فاریابی پس از ارزیابی ۱۰ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان، به این نتیجه رسید که کلیه سامانه‌ها دارای بازده کاربرد پایین بودند و یکنواختی توزیع در آنها کمتر از مقادیر توصیه شده کلر و مریام می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق بررسی طرحهای آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در شهرستان مهاباد بود. بدین منظور، از فراسنجهای مختلف ارزیابی شامل ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین، بازده کاربرد و بازده ترکیبی استفاده شده است.

همکاران^۱، بیل^۲، هر و بنامی^۳، متخصصین انجمن نیشکر هاوایی، مریام و کلر^۴، کلر و بلیسنر و مونتررو و همکارانش^۵ معادلات متفاوتی را ارائه نموده‌اند که اساس همه آنها بر توزیع آب در اطراف آبپاش استوار است (دوارچین و لورنزینی، ۲۰۰۶).

وضعیت توزیع آب در داخل مزرعه تحت تأثیر عوامل زیادی می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به شرایط اقلیمی، طراحی و نصب، کیفیت وسایل به کاررفته، مدیریت و توپوگرافی (پستی و بلندی) اشاره کرد. از میان فراسنجهای اقلیمی، مهمترین عامل اثرگذار باد است، که یکنواختی توزیع آب شدیداً تحت تأثیر سرعت و جهت آن می‌باشد. اکبری و رحیم‌زادگان (۱۳۷۵) اثر باد را بر یکنواختی توزیع آب آبپاشها بررسی کرده، نشان دادند که با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع کاهش می‌یابد. پلاین و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که باد مهمترین عامل محیطی مؤثر بر عملکرد سامانه‌های بارانی، و یکنواختی توزیع آب در آنها می‌باشد. زاپاتا و همکاران (۲۰۰۷) باد را مهمترین عامل مؤثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی دانستند و از کاهش شدید یکنواختی آبیاری به عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد نام بردند. ارتفاع آبپاشها نیز تأثیر زیادی بر یکنواختی آبیاری بویژه در سرعت زیاد باد دارد. کاهش ارتفاع آبپاشها باعث افزایش ضریب یکنواختی می‌شود (پلاین و همکاران، ۲۰۰۵).

پریرا و همکاران (۲۰۰۲) عوامل مؤثر بر بازده کاربرد سامانه‌های آبیاری بارانی را فشار موجود در آبپاش، تغییرات فشار در سامانه، دبی (بده)، قطر خیس شده و فاصله آبپاشها، الگوی توزیع آب آبپاش، زاویه جت خروجی (پاشش)، سرعت و جهت باد، خصوصیات نفوذپذیری (ویژگی‌های تراوایی) خاک، شدت پخش آبپاش، و عوامل مدیریتی نظیر زمان آبیاری، کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری و نگهداری سامانه برشمردند. باوی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که بازده کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری بارانی قبل از هر

¹ - Criddle et.al

² -Beale

³ -Hore& Benami

⁴ -Meriam & Keller

⁵ -Montero et. al.

مواد و روشها

و خشک است، خلاصه‌ای از فراسنجهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی مهاباد در جدول ۱ ارائه شده است.

منطقه مورد بررسی، کهبخشی از اراضی شهرستان مهاباد در استان آذربایجانغربی است، جزء اقلیم سرد نیمه‌خشک با زمستانهای طولانی و تابستانهای نسبتاً گرم

جدول ۱- برخی فراسنجهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی مهاباد

تبخیر تشک (mm)	درجه حرارت (دما) (°C)			میانگین رطوبت نسبی (%)	بارندگی ماهانه (mm)	ماههای سال
	میانگین بیشینه	میانگین دما	میانگین کمینه			
۸۹	۱۵/۸	۹/۵	۳/۲	۶۱/۵	۵۵	فروردین
۱۵۰	۲۱/۶	۱۴/۳	۶/۹	۵۶/۳	۴۱/۸	اردیبهشت
۲۲۰	۲۷/۸	۱۹/۱	۱۰/۴	۵۱/۲	۶	خرداد
۲۷۱	۳۲/۱	۲۳/۲	۱۴/۳	۴۷	-	تیر
۲۵۲	۳۳	۲۴/۲	۱۵/۳	۴۳/۲	-	مرداد
۲۰۸	۳۰/۶	۲۱/۱	۱۱/۶	۴۴/۵	۴/۱	شهریور
۱۴۶	۲۴/۵	۱۵/۸	۷/۱	۵۱	۱۲/۱	مهر
۷۸	۱۹/۱	۱۰/۴	۱/۷	۶۱/۱	۲۷	آبان
۲۵	۱۰/۸	۳/۹	-۳	۶۹/۵	۴۵	آذر
۵	۴/۱	-۱/۵	-۷/۱	۷۵/۴	۳۴/۳	دی
۳	۴/۵	-۱	-۶/۵	۷۶/۱	۲۰/۱	بهمن
۲۰	۱۰/۱	۴/۱	-۲	۷۰/۳	۸۵	اسفند
۱۴۶۷	۱۹/۵	۱۱/۹	۶/۳	۵۸/۹	۳۳۰/۴	سالانه

آبپاش از یک ظرف ۲۰ لیتری و دو قطعه شیلنگ ۲/۵ متری و یک کرومومتر (زمان سنج) استفاده گردید. به منظور اندازه‌گیری فشار سر آبپاشها، فشارسنج و لوله پیتو به کار گرفته شد، به طوریکه لوله پیتو متصل به فشارسنج در فاصله ۳ میلیمتری (یک هشتم اینچ) از نازل آبپاش قرار گیرد. برای اندازه‌گیری توزیع آب به وسیله آبپاشها و عمق آب نفوذ کرده به خاک از قوطیهای آلومینیومی با قطر ۹/۴۵ سانتیمتر و ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در شبکه منظم استفاده گردید. پس از پایان مدت آزمایش (۱۲۰ دقیقه)، بلافاصله حجم آب جمع‌شده در قوطیها با استفاده از استوانه مدرج قرائت شد. برای اندازه‌گیری حجم آب داخل قوطیها از یک استوانه مدرج ۲۰۰ میلی لیتری استفاده شد. فراسنجهای اقلیمی از قبیل رطوبت نسبی، دما و سرعت باد در طول آزمایش اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین کمبود رطوبتی خاک^۱ (SMD) در عمق توسعه

اکثر طرحهای آبیاری تحت فشار اجرا شده در منطقه، آبیاری بارانی و از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک می‌باشند. در این پژوهش سامانه های آبیاری ۳ مزرعه (جدول ۲) از ۳ روستای واقع در منطقه مهاباد از بین سامانه هایی که کمینه یک فصل زراعی از بهره برداری آنها سپری شده باشد، به طور کاملاً تصادفی، انتخاب گردیده و سه بار در طول فصل آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای هر کدام از این مزارع پرسشنامه‌ای شامل اطلاعات و داده‌های سامانه مزبور تهیه، و اطلاعات کلی شامل آب، ساعات و دور آبیاری، آرایش لوله‌ها و ... دریافت گردیدند.

برای تعیین شبکه‌بندی بین آبپاشها از ۴ عدد متر نواری ۵۰، ۲۵، ۱۰ و ۵ متری و ۸۰ عدد میخ چوبی ۷۰ سانتیمتری استفاده شد. میخهای چوبی به فواصل ۳×۳ متری با استفاده از قانون ۳-۴-۵ و تشکیل زاویه قائمه، شبکه‌بندی را مشخص ساختند. برای اندازه‌گیری دبی (بده)

^۱ -Soil moisture deficit

نفوذپذیری هر مزرعه از استوانه مضاعف استفاده شد. نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک و نیز برخی ویژگی‌های شیمیایی آنها و همچنین نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد مصرف مزارع به ترتیب در جداول ۳، ۴ و ۵ ارائه شده‌اند.

ریشه (ریشه گاه) از اگر استفاده گردید. با استفاده از سیلندرهای (استوانه های) استاندارد از لایه‌های ۰-۲۵، ۲۵-۵۰ و ۵۰-۷۵ سانتیمتری، نمونه‌برداری انجام شد. سپس بافت، درصد رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و حد ظرفیت زراعی خاک^۱ (FC) تعیین گردیدند. برای تعیین

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک مزارع.

مزرعه	عمق خاک (cm)	بافت خاک	درصد رطوبت وزنی		وزن مخصوص ظاهری $\rho_d (\frac{gr}{cm^3})$	کسر رطوبت (SMD) (mm)		
			θ_{mpwp}	θ_{mFC}		مرحله سوم	مرحله دوم	مرحله اول
SA	۰-۲۵	L	۲۹/۱	۱۷/۳	۱/۴۲	۴۹	۴۸	۱۵
	۲۵-۵۰	L	۳۱/۲	۱۶/۸	۱/۴۰	۴۹	۴۸	۱۵
	۵۰-۷۵	CLL	۳۲/۱	۱۸/۶	۱/۳۷	۴۹	۴۸	۱۵
MK	۰-۲۵	SCLL	۳۰/۱	۱۵/۷	۱/۴۱	۵۰	۵۳	۲۱
	۲۵-۵۰	SCLL	۲۸/۲	۱۶/۶	۱/۳۸	۵۰	۵۳	۲۱
	۵۰-۷۵	CLL	۲۷/۳	۱۴/۱	۱/۳۶	۵۰	۵۳	۲۱
OF	۰-۲۵	SL	۱۷/۳	۱۱/۱	۱/۵۱	۴۸	۵۰	۳۰
	۲۵-۵۰	SL	۱۹/۱	۱۰/۸	۱/۴۸	۴۸	۵۰	۳۰
	۵۰-۷۵	SCLL	۲۵/۱	۱۵/۲	۱/۴۱	۴۸	۵۰	۳۰

جدول ۴- برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های مختلف خاک مزارع.

مزرعه	عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	غلظت (meq/lit)		SAR
				Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺	
SA	۰-۲۵	۱/۳۱	۷/۸۱	۳۹/۲	۰/۵۲	۰/۱۲
	۲۵-۵۰	۱/۱۲	۷/۹۳	۳۵/۱	۰/۴۱	۰/۱۰
	۵۰-۷۵	۱/۲۱	۷/۷۹	۳۲/۳	۰/۳۱	۰/۰۸
MK	۰-۲۵	۱/۰۲	۷/۷۱	۲۸/۱	۰/۲۱	۰/۰۶
	۲۵-۵۰	۱/۱۲	۷/۸۱	۳۰/۲	۰/۳۲	۰/۰۸
	۵۰-۷۵	۰/۹۲	۷/۹۱	۲۵/۱	۰/۲۸	۰/۰۸
OF	۰-۲۵	۱/۱	۷/۷۱	۲۸/۱	۰/۳۱	۰/۰۸
	۲۵-۵۰	۱/۱	۷/۷۶	۳۲/۶	۰/۲۶	۰/۰۶
	۵۰-۷۵	۱/۰	۷/۹۱	۳۰/۲	۰/۲۸	۰/۰۷

جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مزارع مورد ارزیابی.

مزرعه	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	غلظت (meq/lit)		SAR	طبقه‌بندی ویلکوس
			Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺		
SA	۰/۵۲	۷/۶۱	۴/۴۱	۳/۶۱	۲/۴۳	C ₂ -S ₁
MK	۰/۴۶	۷/۵۸	۳/۴۰	۰/۹۱	۰/۷۰	C ₂ -S ₁
OF	۰/۴۱	۷/۲۰	۳/۹۰	۳/۲۱	۲/۲۹	C ₂ -S ₁

^۱- Field capacity

CUs و DUس ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع سامانه می‌باشند (بایزدی، ۱۳۸۰).

بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ):

$$AELQ = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad (۵)$$

بازده بالقوه در ربع پایین (PELQ):

$$PELQ = \frac{Z_{lq,MAD}}{D_{MAD}} \times 100 \quad (۶)$$

که در آنها D_r میانگین عمق آب کاربردی یا میانگین عمق ناخالص آبیاری اندازه‌گیری شده در سر آبپاش $Z_{lq,MAD}$ (mm)، میانگین عمق آب نفوذیافته در ربع پایین (mm) است. زمانی که برابر SMD باشد، و D_{MAD} میانگین عمق آب کاربردی (mm) است. وقتی که SMD=MAD باشد، که MAD کمبود مدیریتی مجاز (mm) است. زمانی که میانگین عمق نفوذیافته در ربع پایین اراضی بیشتر از کمبود رطوبت خاک^۱ (SMD) باشد، رابطه AELQ در صورت کسر به جای D_q ، با SMD قرار می‌گیرد.

از آن جا که در داخل سامانه آبیاری همواره اختلاف فشاری به علت افت اصطکاک و شرایط توپوگرافی (پستی و بلندی) زمین وجود دارد، لذا بایستی مقادیر AELQ و PELQ به دست آمده از آزمایشها را با توجه به اختلاف فشار موجود در داخل سامانه اصلاح کرد تا بتوان آنها را به کل سامانه تعمیم داد. به همین منظور کور و مریام (۱۹۸۷) ضریبی را بنام عامل کاهش بازده به صورت زیر در نظر گرفتند:

$$ER = \frac{0.2 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \quad (۷)$$

که با استفاده از آن AELQ و PELQ اصلاح

می‌گردند.

$$PELQ_s = PELQ(1 - ER) \quad (۸)$$

$$AELQ_s = AELQ(1 - ER) \quad (۹)$$

ER

تلفات تبخیر و بادبردگی:

$$WDEL = (1 - \frac{\bar{D}}{D_r}) \times 100 \quad (۱۰)$$

بازده پاشش:

با توجه به جداول ۳، ۴ و ۵ خاک مزارع SA، MK و OF به دلیل دارا بودن مقادیر پایین هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم، در دسته خاکهای غیرشور و غیرقلیایی قرار می‌گیرند، همچنین، بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، آب مزارع مذکور در طبقه C₂-S₁ قرار دارد.

فراسنجهای مورد ارزیابی در این پژوهش ضریب یکنواختی کریستین سن (CU)، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (DU)، بازده بالقوه کاربرد در ربع پایین (PELQ) و بازده کاربرد در ربع پایین (AELQ)، تلفات تبخیر و باد (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP)، بازده آبیاری (IE)، بازده کاربرد (AE) و بازده ترکیبی (EC) بوده است که معادلات آنها در ذیل آمده اند:

ضریب یکنواختی کریستین سن (CU):

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum |D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times n} \right] \quad (۱)$$

یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (DU):

$$DU = \frac{D_q}{D} \times 100 \quad (۲)$$

که در آنها، CU ضریب یکنواختی کریستین سن (/)، DU یکنواختی توزیع (/)، D_i عمق آب هر کدام از قوطیهای نمونه برداری در اطراف آبپاش (mm)، \bar{D} میانگین عمق آب در داخل قوطیها، D_q میانگین عمق آب در یک چهارم قوطیهای نمونه‌گیری که کمترین عمق آب را دریافت کرده‌اند (mm) و n تعداد قوطیها می‌باشد. به علت اختلاف فشار ناشی از شرایط هیدرولیکی لوله‌ها، معمولا مقادیر DU و CU در نقاط مختلف مزرعه باهم تفاوت دارند و برای نسبت دادن آنها به کل سامانه بایستی با استفاده از روابط زیر ضریب یکنواختی کریستین سن سامانه و یکنواختی توزیع آن را بدست می‌آید:

$$CUs = Cu \left[\frac{1 + (\frac{P_{min}}{P_{mean}})^{0.5}}{2} \right] \quad (۳)$$

$$DU_s = Du \left[\frac{1 + 3(\frac{P_{min}}{P_{mean}})^{0.5}}{4} \right] \quad (۴)$$

که در آنها Pmean و Pmin به ترتیب فشار کمینه و میانگین به دست آمده از آزمون فشار در کل سامانه، و

¹ -Soil Moisture Deficit

بازده ترکیبی (EC):

$$E_c = \frac{(100 - DP)(100 - WDEL)}{100} \quad (14)$$

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای و محاسبه فراسنجهای ارزیابی بر اساس روابط ارائه‌شده، فراسنجهای مزبور برای هر یک از سامانه‌ها در سه مرحله به صورت جداگانه محاسبه و به شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقادیر بعضی از فراسنجهای هواشناسی مؤثر بر ارزیابی و نیز مقادیر دبی (بده) و فشار در مراحل مختلف ارزیابی سامانه‌های آبیاری به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند.

$$IE = \frac{\bar{D}}{D_r} \times 100 \quad (11)$$

تلفات نفوذ عمقی:

$$DP = \frac{(\bar{D}_0 - SMD) \times \frac{N_1}{N}}{D_r} \times 100 \quad (12)$$

که در آن N_1 و \bar{D}_0 به ترتیب شمار و میانگین عمق آب جمع‌شده در قوطیهایی که آب موجود در آنها بیشتر از SMD بوده است، و N تعداد کل قوطیها می‌باشد. بازده کاربرد (عمق آب نفوذیافته برای جبران SMD، تقسیم بر عمق ناخالص آب آبیاری اندازه‌گیری شده در سر نازل) از روابط زیر به بدست می‌آید:

$$AE = (100 - WDEL - DP) \quad (13)$$

جدول ۶- فراسنجهای درجه حرارت (دما)، رطوبت نسبی و سرعت باد در سامانه‌های مورد ارزیابی.

مزرعه	مرحله ارزیابی	دما (°C)	رطوبت نسبی %	سرعت باد (m/s)
SA	۱	۱۲/۱	۲۳	۱۱/۲
	۲	۱۶/۲	۲۰	۷/۰
	۳	۲۱/۴	۷	۳/۵
MK	میانگین	۱۶/۶	۱۷	۷/۲
	۱	۱۴/۳	۲۰	۷/۰
	۲	۱۷/۰	۱۹	۷/۵
OF	۳	۱۶/۹	۲۱	۱۸/۲
	میانگین	۱۶/۱	۲۰	۱۰/۹
	۱	۱۳/۷	۱۸	۶/۱
میانگین کل	۲	۱۷/۶	۱۹	۷/۳
	۳	۱۶/۲	۱۷	۸/۱
	میانگین	۱۵/۸	۱۸	۷/۲
		۱۶/۲	۱۸	۸/۴

جدول ۷- مقادیر دبی (بده) و فشار در سامانه های مورد ارزیابی.

فشار کمینه - فشار حداکثر فشار میانگین %	فشار حداکثر (psi)	فشار میانگین (psi)	فشار کمینه (psi)	دبی میانگین (L/S)	مرحله	سامانه آبیاری
۶۳/۴	۵۶	۴۱	۳۰	۲/۳۷	۱	SA
۵۹/۱	۵۸	۴۴	۳۲	۲/۴۵	۲	
۶۱/۹	۵۷	۴۲	۳۱	۲/۴۲	۳	
۶۱/۴	۵۷	۴۲	۳۱	۲/۴۱	میانگین	
۱۶/۳	۵۳	۴۹	۴۵	۲/۹۵	۱	MK
۱۴/۰	۵۳	۵۰	۴۶	۳/۰۲	۲	
۱۱/۸	۵۴	۵۱	۴۸	۳/۱۱	۳	
۱۴/۰	۵۳	۵۰	۴۶	۳/۰۳	میانگین	
۳۳/۳	۵۳	۴۲	۳۹	۲/۳۶	۱	OF
۳۳/۳	۵۴	۴۲	۴۰	۲/۴۱	۲	
۳۴/۱	۵۲	۴۱	۳۸	۲/۳۷	۳	
۳۳/۶	۵۳	۴۲	۳۹	۲/۳۸	میانگین	
۳۶/۴	۵۴/۴	۴۴/۷	۳۸/۸	۲/۶۱	میانگین کل	

کمتر از حد مجاز بوده است. بطور کلی، به علل طراحی ناقص و اجرای نادرست و بهره‌برداری ضعیف از سامانه ها، فشار نامناسب بوده است.

ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، ضریب یکنواختی سامانه و یکنواختی توزیع سامانه که با استفاده از روابط ارائه شده و آزمایشهای متعدد به دست آمده، در جدول ۸ ارائه شده اند.

با توجه به جدول ۷، فشار میانگین و دبی (بده) میانگین در سامانه های ارزیابی در این پژوهش ۴۵psi و ۲/۶ لیتر بر ثانیه تعیین گردیدند. گفتنی است که در سامانه های SA و OF فشار میانگین نامناسب و کمتر از فشار طراحی سامانه ها بودند، همچنین اختلاف فشار در نقاط مختلف سامانه های مزبور بیشتر ولی در سامانه MK، فشار میانگین مناسب و اختلاف فشار در نقاط مختلف

جدول ۸- مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	CU	DU	CUs	DUs
SA	۱	۴۵/۲	۳۸/۹	۴۱/۹	۳۴/۷
	۲	۶۶/۱	۵۲/۲	۶۱/۲	۴۶/۴
	۳	۷۳/۵	۶۳/۱	۶۸/۳	۵۶/۴
	میانگین	۶۱/۶	۵۱/۴	۵۷/۲	۴۵/۸
MK	۱	۷۶/۹	۶۳/۲	۷۵/۳	۶۱/۲
	۲	۷۴/۲	۵۹/۲	۷۲/۷	۵۷/۴
	۳	۷۱/۴	۵۳/۱	۷۰/۳	۵۱/۹
	میانگین	۷۴/۲	۵۸/۵	۷۲/۸	۵۶/۸
OF	۱	۷۲/۹	۵۷/۱	۷۱/۶	۵۵/۵
	۲	۷۰/۱	۵۵/۳	۶۹/۳	۵۴/۳
	۳	۶۸/۳	۵۴/۰	۶۷/۰	۵۲/۵
	میانگین	۷۰/۴	۵۵/۵	۶۹/۳	۵۴/۱
میانگین کل		۶۸/۷	۵۵/۱	۶۶/۴	۵۲/۳

رایزرها (آبپاشها)، یکنواختی توزیع آب را تا حدی افزایش داد، چه، تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع به صورت لگاریتمی بوده و با افزایش ارتفاع، سرعت باد به شدت افزایش می‌یابد.

در این پژوهش مشاهده گردید که ضرایب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع همبستگی خوبی دارند به طوری که ضریب تبیین در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۰/۹۵۶، ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۹ و بطور میانگین در کلیه سامانه ها ۰/۹۸۱ بوده است. ضمناً تغییرات DU نسبت به CU در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب به صورت روابط ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به دست آمده اند:

$$DU = 0.8074CU + 1.6662 \quad (15)$$

$$DU = 1.8385CU - 77.854 \quad (16)$$

$$DU = 0.6712CU + 8.1907 \quad (17)$$

همان طور که بیان گردید، ضریب بازده بالقوه آب در ربع پایین، بیانگر بازده سامانه موجود در شرایط بهره‌برداری مناسب، و ضریب بازده کاربرد آب در ربع پایین، شاخص نحوه بهره‌برداری سامانه در وضع موجود می‌باشند، که بر اساس روابط ارائه شده و نتایج آزمایشهای مزرعه‌ای مقادیر فراسنجهای مذکور به صورت ارائه شده در جدول ۹ بدست آمده اند.

با توجه به جدول مزبور میانگین کل ضریب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع سامانه در این پژوهش ۰/۶۶/۴ و ۰/۵۲/۲ بوده اند. این مقادیر در تمام سامانه های ارزیابی شده، کمتر از مقادیر پیشنهادی مریام و کلر می باشند. گفتمنی است که در سامانه آبیاری MK، که فشار کارکرد مناسب و درصد اختلاف فشار کمتر از حد مجاز بوده، ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع سامانه مزبور بیشتر از سامانه های دیگر (SA و OF) بوده است. ابراهیمی (۱۳۸۵) و فاریابی (۱۳۸۸) نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. به جز فشار، فراسنج دیگری که در توزیع یکنواختی آب در مزرعه تأثیر زیادی داشته، سرعت باد می‌باشد، به طوری که در تمامی سامانه ها، در مراحلی که سرعت باد بیشتر بوده، ضرایب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع کمتر از مراحلی بوده که سرعت باد کمتر بوده است، پیامد افزایش سرعت باد، کاهش ضریب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع می باشد. پژوهشگرانی چون اکبری و رحیم‌زادگان (۱۳۷۵) و بایزیدی (۱۳۸۰) نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. از آن جا که میانگین ارتفاع آبپاشها، با در نظر گرفتن شیر خودکار در این سامانه ها، از سطح زمین حدود ۱/۴۵ متر بوده است، می توان با کاهش ۳۰ سانتیمتری ارتفاع پایه

جدول ۹- بازده بالقوه (توانی) و بازده کاربرد آب در ربع پایین در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	AELQ (%)	PELQ (%)	AELQ _s (%)	PELQ _s (%)
SA	۱	۳۵/۴	۳۵/۴	۳۰/۹	۳۰/۹
	۲	۴۶/۸	۴۶/۸	۴۱/۲	۴۱/۲
	۳	۵۳/۹	۵۳/۹	۴۷/۲	۴۷/۲
	میانگین	۴۵/۳	۴۵/۳	۳۹/۸	۳۹/۸
MK	۱	۶۴/۱	۶۴/۱	۶۲/۰	۶۲/۰
	۲	۵۳/۲	۵۳/۲	۵۱/۷	۵۱/۷
	۳	۳۸/۹	۳۸/۹	۳۸/۰	۳۸/۰
	میانگین	۵۲/۱	۵۲/۱	۵۰/۶	۵۰/۶
OF	۱	۵۲/۴	۵۲/۴	۴۸/۹	۴۸/۹
	۲	۵۰/۳	۵۰/۳	۴۶/۹	۴۶/۹
	۳	۴۸/۴	۴۸/۴	۴۵/۱	۴۵/۱
	میانگین	۵۰/۴	۵۰/۴	۴۷/۰	۴۷/۰
میانگین کل		۴۸/۴	۴۸/۴	۴۴/۹	۴۴/۹

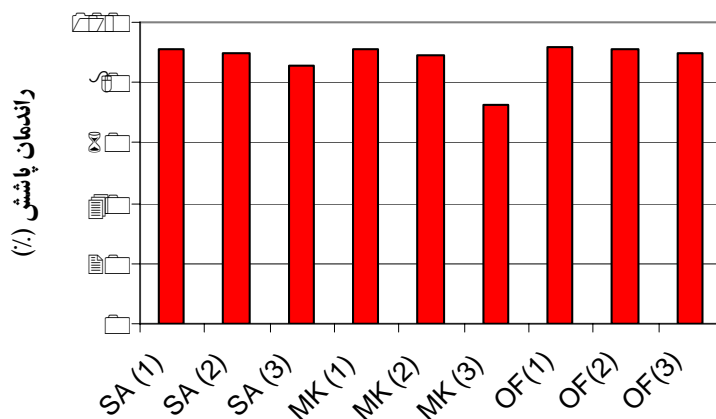
ضمناً به علت اختلاف فشار موجود در سامانه، بازده بالقوه و بازده کاربرد ربع پایین در سامانه های SA و OF به ترتیب ۵/۶ و ۳/۴ درصد نسبت به قطعه آزمایشی کاهش داشته، ولی به علت کمبود اختلاف فشار موجود در سامانه MK نسبت به حد مجاز، مقادیر مذکور تنها ۱/۴ درصد نسبت به قطعه آزمایشی کاهش داشته است. بر اساس روابط ارایه شده و مشاهدات مزرعه‌ای، فراسنجهای تلفات تبخیر و بادبردگی و تلفات نفوذ عمقی محاسبه و نتایج آن در جدول ۱۰ ارائه شده اند.

میانگین بازده کاربرد و بازده بالقوه ربع پایین در کلیه سامانه های مورد ارزیابی در این تحقیق ۴۵/۸٪ بوده است. به علت پایین بودن یکنواختی توزیع آب، و نامناسب بودن فشار و نیز طراحی و اجرای نامناسب و بهره‌برداری نادرست، در تمامی سامانه ها و در تمامی مراحل ارزیابی، بازدههای بالقوه و کاربرد آب در ربع پایین برابر و کم بودند، که علت اصلی آن کمبود عمق میانگین آب در کمترین ربع نسبت به کمبود رطوبت خاک (SMD) می‌باشد. بدین معنی که کم آبیاری صورت گرفته و کیفیت آبیاری کم بوده است، در هیچ کدام از مراحل ارزیابی، آبیاری بطور کامل صورت نگرفته است.

جدول ۱۰- تلفات آبیاری در سامانه های مورد ارزیابی.

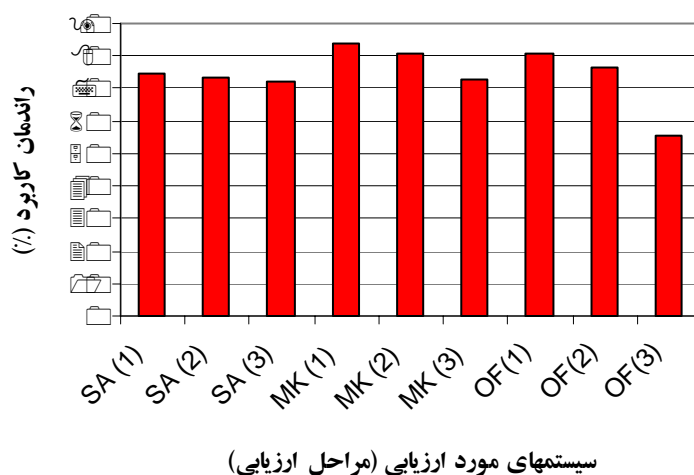
تلفات نفوذ عمقی DP%	تلفات تبخیر و بادبردگی WDEL%	تلفات بادبردگی %	تلفات تبخیر %	مرحله	سامانه آبیاری
۱۶/۲	۹/۱	۳	۶/۱	۱	SA
۱۶/۴	۱۰/۴	۲/۲	۸/۲	۲	
۱۳/۱	۱۴/۶	۱/۸	۱۲/۸	۳	
۱۵/۲	۱۱/۴	۲/۳	۹	میانگین	
۷/۲	۹/۲	۲/۵	۶/۷	۱	MK
۸/۱	۱۱/۳	۴/۴	۶/۹	۲	
۰/۰	۲۷/۵	۲۰/۴	۷/۱	۳	
۵/۱	۱۶/۰	۹/۱	۶/۹	میانگین	
۱۱/۳	۸/۲	۴/۱	۴/۱	۱	OF
۱۴/۲	۹/۱	۳/۸	۵/۳	۲	
۳۴/۱	۱۰/۳	۵/۲	۵/۱	۳	
۱۹/۹	۹/۲	۴/۴	۴/۸	میانگین	
۱۳/۴	۱۲/۲	۵/۳	۶/۹	میانگین کل	

همچنین، نتایج مربوط به بازده پاشش، بازده کاربرد و بازده ترکیبی به ترتیب در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

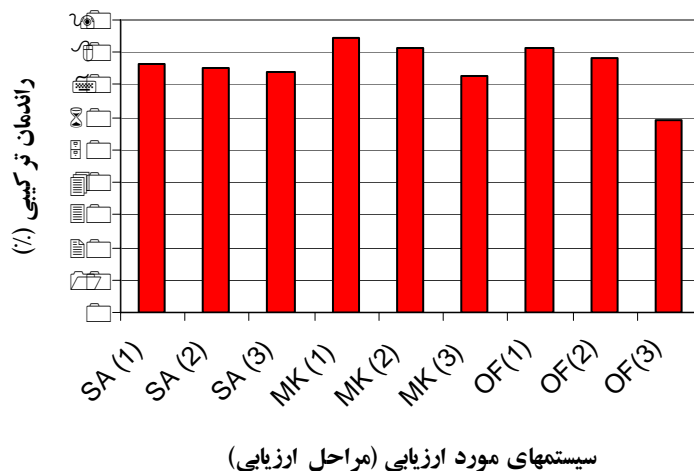


سیستم‌های مورد ارزیابی (مراحل ارزیابی)

شکل ۱- بازده (راندمان) پاشش در سامانه های SA، MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)



شکل ۲- بازده (راندمان) کاربرد در سامانه های SA, MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)



شکل ۳- بازده (راندمان) ترکیبی در سامانه های SA, MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)

ترتیب ۱۱/۴، ۱۶ و ۹/۲ درصد بوده است، بیشترین مقدار تلفات مربوط به سامانه MK بود، میانگین سرعت باد نیز در این سامانه بیشتر از دو سامانه دیگر بوده است. میانگین نفوذ عمقی در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۱۵/۲، ۵/۱ و ۱۹/۹ درصد بوده است. در اغلب مراحل ارزیابی این سامانه ها (تمامی مراحل به جز مرحله سوم سامانه MK)، نفوذ عمقی وجود داشته است (در مرحله سوم ارزیابی سامانه MK، به علت کمتر بودن نصف

مابه‌التفاوت مقدار ناخالص آب آبیاری (اندازه‌گیری شده در سر نازل) و مقدار میانگین آب جمع‌شده در قوطیهای نمونه‌گیری، تلفات آب به صورت تبخیر و بادبردگی (WDEL) می‌باشد. به طور کلی با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۰ تلفات بادبردگی در مراحل که سرعت باد زیاد بوده، افزایش یافته، نیز در مراحل که دما بالا بوده، تبخیر افزایش داشته است. مجموع تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه های SA، MK و OF به

- ۳- بایزیدی، م. ۱۳۸۰. ارزیابی سامانه های آبیاری بارانی در شهرستان قروه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۴- سهرابی، ت. و ر. اصلی‌منش. ۱۳۷۷. ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای در کرج. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۲(۲): ۱-۱۴.
- ۵- فاریابی، ا. ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی فنی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در دشت دهگلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان.
- ۶- قاسم‌زاده مجاوری، ف. ۱۳۷۵. ارزیابی روشهای مختلف آبیاری در مزرعه. انتشارات آستان قدس رضوی.
- 7- Al- Ghobari, H. M. 2006. Effect of maintenance on the performance of sprinkler irrigation systems and irrigation water conservation. Food Science & Agricultural Resources Center, King Saud Univ., Res. Bult., No. (141): 5-19.
- 8- Bavi, A., H. A. Kashkuli, S. Broomand, A. Naseri, and M. Albaji. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. J. Appl. Sci. 9(3): 597-600.
- 9- De Juan, J. A., J. F. Ortega, N. Alvarez, and J. M. Tarjuelo. 2002. Irrigation advisory service for farmers (SIAR) in castilla la mancha: Actions and limitations. Workshop organized by FAO- ICID. Montreal, Canada. 16pp.
- 10- De Wrachien, D., and G. Lorenzini, G. 2006. Modelling jet flow and losses in sprinkler irrigation: Overview and perspective of a new approach. Biosys. Engin. 94(2): 297-309.
- 11- Lorenzini, G. 2002. Air temperature effect on spray evaporation in sprinkler irrigation. Irrig. Drain. 51: 301- 309.
- 12- Montazar, A., and M. Moridnejad. 2008. Influence of wind and bed slope on water and soil moisture distribution in solid-set sprinkler systems. Irrig. Drain. 57: 175-185.
- 13- Pereira, L. S., T. Oweis, and A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity. Agric. Water Manage. 57: 175-206.
- 14- Playa'n, E., R. Salvador, J. M. Faci, N. Zapata, A. Martinez- Cob, and I. Schez. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. Agric. Water Manage. 76: 139-159.
- 15- Zapata, N., E. Playa'n, A. Martinez-Cob, I. Sanchez, J. M. Faci, and S. Lecina. 2007. From on farm solid-set sprinkler irrigation design to

پایین آب نسبت به کمبود رطوبتی خاک، نفوذ عمقی صفر بوده است). بالابودن تلفات نفوذ عمقی در این سامانه ها می‌تواند به علت پایین بودن یکنواختی توزیع آب، کم بودن هزینه آب و برنامه‌ریزی نامناسب باشد. میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی در این سامانه ها ۱۲/۲، میانگین تلفات نفوذ عمقی ۱۳/۴ و مجموع آنها ۲۵/۶ درصد بوده است. بازده پاشش، که مبین تفاوت مقدار ناخالص آب آبیاری و مقدار میانگین آب رسیده به سطح زمین می‌باشد در سامانه های SA, MK و OF به ترتیب ۸۸/۶، ۸۴/۰ و ۹۰/۸ و بطور میانگین در کل سامانه های ارزیابی ۸۷/۸ درصد بوده است. بازده کاربرد (عمق آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه(ریشه گاه) به عمق ناخالص آب آبیاری) در سامانه های SA, MK و OF به ترتیب ۷۳/۴، ۷۸/۹ و ۷۰/۹ و بطور میانگین ۷۴/۴ درصد بوده است. بازده ترکیبی نیز در این سامانه ها بترتیب ۷۵/۱، ۷۹/۴ و ۷۲/۸ و بطور میانگین ۷۵/۸ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری

بازده کاربرد سامانه های SA, MK و OF به ترتیب ۷۳،۴، ۷۸،۹ و ۷۰،۹ درصد و میانگین هر سه آنها ۷۴،۴ درصد بوده است. این بازده برای چنین سامانه هایی رضایت بخش نبوده و بهتر است ارتقا یابد. از جمله مهمترین عوامل کاهنده بازده آبیاری در منطقه، می‌توان به مشکلات طراحی، استفاده از لوازمی با کیفیت پایین، مشکلات اجرای سامانه ها، عوامل محدودکننده اقلیمی مثل باد، فرهنگ نامناسب استفاده از سامانه های جدید آبیاری و نظارت نامناسب بر اجرا و بهره‌برداری ضعیف از این سامانه ها را نام برد. بررسی رابطه فراسنجهای ارزیابی با عملکرد محصول، نیز تأثیر کاهش فاصله آبپاشها و کوتاه کردن پایه آنها بر فراسنجهای ارزیابی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- ۱- ابراهیمی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد روش‌های آبیاری تحت فشار در استان خراسان. علوم کشاورزی. ۱۲(۳): ۵۷۹-۵۸۹.
- ۲- اکبری، م. و ر. رحیم زادگان. ۱۳۷۵. اثرات باد و خصوصیات هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی بر یکنواختی توزیع آب. گزارش دومین کنگره مسائل آب و خاک کشور.

collective irrigation network design in windy areas. Agric. Water Manage. 87: 187-199.